

Method and device for determining and compensating for the tilting of the spectrum in an optical fiber of a data transmission path

Publication number: DE10040791

Publication date: 2002-03-14

Inventor: ELBERS JOERG-PETER (DE); FAERBERT ANDREAS (DE); GLINGENER CHRISTOPH (DE); RAPP LUTZ (DE); SCHEERER CHRISTIAN (DE)

Applicant: SIEMENS AG (DE)

Classification:






- international: **H04B10/08; H04B10/18; H04B10/08; H04B10/18;**
(IPC1-7): H04B10/08; H04B10/18; H04J14/02; H04L1/20

- european: H04B10/08A2; H04B10/18C; H04B10/18E

Application number: DE20001040791 20000821

Priority number(s): DE20001040791 20000821

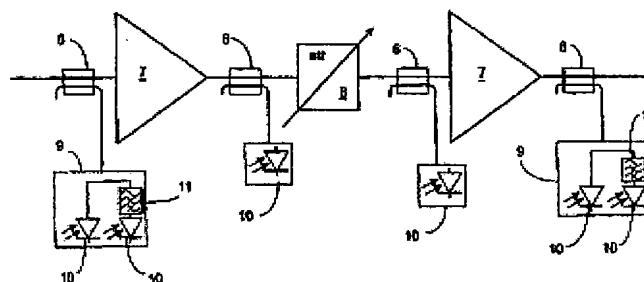
Also published as:

 WO0217514 (A1)
 US2004120639 (A1)
 EP1312175 (A0)
 CA2420611 (A1)
 EP1312175 (B1)

Report a data error here

Abstract of DE10040791

The invention relates to a method and to a device for compensating for the spectral tilting of an optical signal by measuring at least one overall intensity after passage of the signal through an influencing element (11) that has a known characteristic of influence. The invention further relates to the use of said device for adjusting the spectral tilting.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

----- Internal bibliographic data: -----

AKZ: 200012126
BKZ: COM C FN T TON WDM
TI_I: Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung und Kompensation der Verkipfung
des Spektrums in einer Lichtleitfaser einer Datenuebertragungsstrecke
.
PA_I: Siemens Aktiengesellschaft

----- Derwent data: -----

AN: 2002-415517
TI: Determining/compensating spectrum tilting in optical fiber of data
transmission path involves feeding light through element with
known frequency-dependent influence on intensity
PN: WO200217514-A1
PD: 28.02.2002
FP: 28.02.2002
PR: DE1040791 21.08.2000
AB: NOVELTY - The method involves feeding light transported in a light
conducting fiber at least partly through at least one influencing
element (11) with known frequency-dependent influence on intensity.
The total intensity of at least one defined frequency range
is measured at each influencing element and the tilt is determined
based on the known influence of the influencing element and
the measured overall intensities. DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT
CLAIMS are also included for the following: an arrangement
for determining the tilting of the spectrum of light signals
in an optical fiber of an optical data transmission path and
an optical data transmission path, especially a WDM system.;
USE - For determining and compensating tilting of spectrum in optical
fiber of data transmission path. ADVANTAGE - Enables spectrum
tilt to be measured without spectrally resolving measurement
technology. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a
schematic sectional representation of a data transmission path
with regulated yield tilt for compensating stimulated Raman
scattering (Drawing includes non-English text) couplers 6 amplifier
stages 7 damping element 8 influencing element 11 photodiodes
10
PA: (ELBE/) ELBERS J; (FARB/) FARBERT A; (GLIN/) GLINGENER C; (RAPP/) RAPP L;
(SCHE/) SCHEERER C; (SIEI) SIEMENS AG;
IN: ELBERS J; FAERBERT A; GLINGENER C; RAPP L; SCHEERER C; FARBERT A;
FA: DE50105430-G 31.03.2005; EP1312175-B1 23.02.2005; US2004120639-A1
24.06.2004; EP1312175-A1 21.05.2003; DE10040791-A1 14.03.2002;
WO200217514-A1 28.02.2002
CO: AT; BE; CA; CH; CY; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LI; LU;
MC; NL; PT; SE; TR; US; WO;
DN: 200217514-WOA1; CA; US;
DR: 200217514-WOA1; AT; BE; CH; CY; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT;
LU; MC; NL; PT; SE; TR; 1312175-EPA1; AT; BE; CH; CY; DE; DK;
ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LI; LU; MC; NL; PT; SE; TR; 1312175-
EPB1; DE; FR; GB; IT;
IC: G02B-006/26; H04B-010/08; H04B-010/18; H04J-014/02; H04L-001/20
MC: W02-C04A7; W02-C04B1; W02-C04B4B; W02-C04C1; W02-K04;
DC: P81; W02;
FN: 2002415517.gif

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 40 791 A 1**

21 Aktenzeichen: 100 40 791.9
22 Anmeldetag: 21. 8. 2000
43 Offenlegungstag: 14. 3. 2002

61 Int. Cl. 7:
H 04 B 10/08
H 04 B 10/18
H 04 J 14/02
H 04 L 1/20

DE 100 40 791 A 1

71 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:
Elbers, Jörg-Peter, 81375 München, DE; Färbert,
Andreas, Dr., 81827 München, DE; Glingener,
Christoph, Dr., 83620 Feldkirchen-Westerham, DE;
Rapp, Lutz, Dr., 82041 Deisenhofen, DE; Scheerer,
Christian, 81375 München, DE

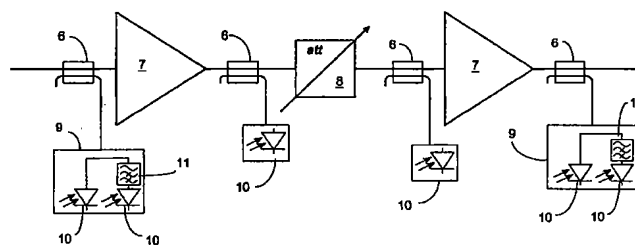
56 Entgegenhaltungen:
US 59 09 305 A
EP 09 33 594 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung und Kompensation der Verkipfung des Spektrums in einer Lichtleitfaser einer Datenübertragungsstrecke

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Verkipfung des Spektrums eines optischen Signals durch Messung von mindestens einer Gesamtintensität im Anschluß an einen Durchgang des Signals durch Beeinflussungselement mit bekannter Beeinflussungscharakteristik einschließlich deren Verwendungsmöglichkeit für die Einstellung der spektralen Verkipfung.



DE 100 40 791 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Verkipfung des Spektrums in einer Lichtleitfaser einer Datenübertragungsstrecke. Des weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kompensation der gemessenen Verkipfung.

[0002] Es ist bekannt, daß in Lichtleitfasern durch stimulierte Raman-Streuung (SRS) Leistung von höheren zu niedrigen Frequenzen (von niedrigen zu höheren Wellenlängen) und damit zwischen Datenübertragungskanälen transferiert wird. Es wird also das ursprüngliche Frequenzspektrum des Lichtsignals "verkippt". Hierdurch verringert sich die Empfangsleistung der Kanäle mit kleinen Wellenlängen, wodurch deren Bitfehlerrate zunimmt. Es ist auch bekannt, die Verkipfung des Spektrums von Lichtsignalen, die durch Lichtleitfasern, insbesondere von optischen Datenübertragungsstrecken, geleitet werden, zu messen und dieser Verkipfung durch entsprechende Filterung oder Verstärkung entgegenzuwirken.

[0003] Zur Bestimmung dieser Verkipfung wird im Stand der Technik eine aufwendige spektral auflösende Meßtechnik verwendet, die aufgrund der teuren und auch platzmäßig aufwendigen Meßtechnik keinen breiten Einsatz finden kann.

[0004] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu entwickeln, welches auf einfache und schnelle Weise die Verkipfung des Spektrums in einer Lichtleitfaser ohne spektral auflösende Meßtechnik bestimmen kann.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die beiden unabhängigen Patentansprüche gelöst.

[0006] Die Erfinder haben folgendes erkannt:

Infolge der stimulierten Raman-Streuung (SRS) wird Leistung von Kanälen mit kleineren Wellenlängen zu Kanälen mit größeren Wellenlängen transferiert. Ein Teil der Kanäle erfährt also eine Zusatzdämpfung, während die anderen durch diesen nichtlinearen Effekt eine der Faserdämpfung entgegenwirkende Verstärkung erfahren. Diese Verstärkung beziehungsweise Zusatzdämpfung ist zeitabhängig. Bei stark unterschiedlichen Gruppenlaufzeiten zwischen den wechselwirkenden Kanälen, was häufig bei Verwendung von SSMF (Standard-Einmodenfaser, engl.: standard single mode fibre) der Fall ist, kann dieser Aspekt jedoch vernachlässigt werden. Dennoch resultieren genau wie durch die Wellenlängenabhängigkeit des Gewinns in EDFA (= Erbium dotierten Faserverstärkern) unterschiedliche mittlere Leistungen für die einzelnen Kanäle. Diesen Effekt nennt man "Verkipfung" des Spektrums. Prinzipiell ist es möglich, den Gewinn eines EDFA gezielt so einzustellen, daß diesem Effekt entgegengewirkt wird. Zur Kompensation einer jeglichen Verkipfung in einer Datenübertragungsstrecke ist es allerdings notwendig, eine einfache Methode zur Bestimmung der Verkipfung zu finden.

[0007] Grundsätzlich läßt sich eine lineare Verkipfung, das heißt eine Verkipfung 1. Ordnung bestimmen, durch die Information aus zwei Gesamtintensitäten im Spektrum jeweils nach dem Durchgang durch mindestens ein Filter mit bekannter frequenzabhängiger Transmissionscharakteristik oder mindestens einen Verstärker mit bekannter frequenzabhängiger Beeinflussungscharakteristik, nachfolgend allgemein als Beeinflussungselement bezeichnet. Verkipfungen höherer Ordnung, also nichtlineare Verkipfungen, lassen sich entsprechend durch eine entsprechend hohe Anzahl von Messungen von Gesamtintensitäten nach dem Durchgang durch jeweils andere bekannte frequenzabhängige Beeinflussungselemente annähern.

[0008] Zur Bestimmung der spektralen Verkipfung eines Signals genügt es grundsätzlich, an einer Stelle Licht auszukoppeln und die Gesamtintensität nach dem Passieren zweier Beeinflussungselemente – z. B. Filter oder frequenzabhängige Verstärker – zu bestimmen. Eines dieser Filter kann auch auf einen Allpaß ohne Phasengang reduziert werden, so daß es genauso gut entfernt werden kann. Hier genügen dann ein Beeinflussungselement und zwei Meßstellen für die Gesamtintensität, um die spektrale Verkipfung des Signals zu bestimmen. Ist allerdings die Gesamtintensität eines Signals vor dem Durchgang durch ein Beeinflussungselement aus anderen Informationen bereits bekannt, reicht auch ein einziges Beeinflussungselement und eine einzige Meßstelle der Gesamtintensität nach diesem Beeinflussungselement.

[0009] Signalverkipfungen in einer Signalstrecke und durch den EDFA hervorgerufene Verkipfung sind grundsätzlich gleichartig, wenn man ein flaches Eingangsspektrum voraussetzt. In einem Übertragungssystem wird aber senderseitig das Spektrum bewußt verzerrt, so daß zur Bestimmung der Verkipfung durch den EDFA die Signalverkipfung vor und nach dem EDFA bestimmt werden muß, da sonst die Information über das Eingangssignal nicht vorliegt.

[0010] Entsprechend diesen oben geschilderten Erfindungsgedanken schlagen die Erfinder vor, das bekannte Verfahren zur Bestimmung der Verkipfung des Spektrums von Lichtsignalen in einer Lichtleitfaser einer optischen Datenübertragungsstrecke, dadurch zu verbessern, daß das in einer Lichtleitfaser transportierte Licht zumindest teilweise durch mindestens ein Beeinflussungselement mit bekannter frequenzabhängiger Intensitätsbeeinflussung geleitet wird, wobei anschließend an jedes Beeinflussungselement die Gesamtintensität zumindest eines bestimmten Frequenzbereiches gemessen und die Verkipfung aufgrund des bekannten Einflusses der Beeinflussungselemente und der mindestens einen gemessenen Gesamtintensität bestimmt wird.

[0011] In einer besonderen Ausgestaltung dieses Verfahrens ist es vorgesehen, daß als Beeinflussungselement ein einstellbares optisches Filter und/oder ein frequenzabhängiger Verstärker verwendet wird, wobei dies vorzugsweise ein EDFA (Erbium-dotierter Faserverstärker) sein kann. Als Verstärker können auch sonstige mit Seltenen Erden dotierte Wellenleiterstrukturen verwendet werden. Als Beispiel für ein einstellbares optisches Filter kann ein Mach-Zehnder mit verstellbarer Zeitverzögerung in einem Zweig oder einstellbarer Intensitätsaufteilung auf die beiden Zweige genannt werden.

[0012] Entsprechend dem Erfindungsgedanken kann das oben dargestellte Meßverfahren auch für ein Verfahren zur Einstellung oder Kompensation der Verkipfung des Spektrums von Lichtsignalen in einer Lichtleitfaser einer optischen Datenübertragungsstrecke verwendet werden. Diese Verkipfung kann verändert beziehungsweise kompensiert werden, indem ein oder mehrere einstellbare Filter oder Dämpfungsglieder und/oder die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung eines oder mehrerer optischer Verstärker, z. B. EDFA oder sonstige mit Seltenen Erden dotierte Wellenleiterstrukturen, derart eingestellt werden, daß sie der auf der Übertragungsstrecke entstehenden Verkipfung entgegenwirken.

[0013] Entsprechend dem grundlegenden Erfindungsgedanken schlagen die Erfinder weiterhin eine Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung des Spektrums von Lichtsignalen in einer Lichtleitfaser einer optischen Datenübertragungsstrecke, vor, die folgende Merkmale aufweist:

- es ist mindestens ein Beeinflussungselement an- und/oder eingekoppelt in der Lichtleitfaser vorgesehen, das/die mindestens eine definierte frequenzabhängige Intensitätsveränderung des durchgeleiteten Lichtes bewirkt/bewirken,
- es sind Mittel zur Messung der jeweiligen Gesamtintensität über einen bestimmten Frequenzbereich von mindestens zwei Lichtsignalen vorgesehen, wobei mindestens eines frequenzabhängig intensitätsverändert ist, und
- es sind Mittel zur Berechnung der Verkippung aufgrund des bekannten Einflusses der Beeinflussungselemente und der gemessenen Gesamtintensitäten vorgesehen.

[0014] Hierbei kann mindestens ein Beeinflussungselement ein Filter, vorzugsweise ein Mach-Zehnder-Interferometer, und/oder ein optischer Verstärker, vorzugsweise ein EDFA (Erbium-dotierter Faserverstärker) oder eine sonstige mit Seltenen Erden dotierte Wellenleiterstruktur, sein.

[0015] Des weiteren kann das Mittel zur Messung der jeweiligen Gesamtintensität des frequenzabhängig beeinflussten Lichtsignals eine Photodiode sein.

[0016] Vorteilhaft ist es auch, wenn in einer besonderen Ausgestaltung das Mittel zur Berechnung der Verkippung aufgrund des bekannten Einflusses der Beeinflussungselemente und der gemessenen Gesamtintensitäten ein Mikroprozessor mit Datenspeicher und Programm-Mitteln zur Lösung von linearen Gleichungssystemen ist.

[0017] Zusätzlich schlagen die Erfinder auch vor, eine Vorrichtung zur Einstellung der Verkippung des Spektrums von Lichtsignalen in einer Lichtleitfaser einer optischen Datenübertragungsstrecke, mit mindestens einem Mittel zur Veränderung der Verkippung, dahingehend zu verbessern, daß sie eine Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung eine Meßvorrichtung enthält, wie sie oben beschrieben wurde.

[0018] Erfindungsgemäß kann hier vorgesehen werden, daß das Mittel zur Veränderung des Spektrums ein frequenzabhängiger optischer Verstärker, vorzugsweise eine mit Seltenen Erden dotierte Wellenleiterstruktur, Faser oder ein EDFA ist, wobei die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung der Wellenleiterstruktur oder Faser durch Veränderung der Pumpleistung derart eingestellt werden kann, daß sie der ursprünglichen Verkippung entgegenwirkt.

[0019] Andererseits kann das Mittel zur Veränderung des Spektrums auch ein einstellbares frequenzabhängiges optisches Filter, vorzugsweise ein Mach-Zehnder mit verstellbarer Leistungsaufteilung auf seine Zweige und/oder mit verstellbarer Zeitverzögerung in mindestens einem seiner Zweige, sein, wobei die Frequenzabhängigkeit der Dämpfung derart eingestellt werden kann, daß sie in Richtung der gewünschten Verkippung wirkt (z. B. der ursprünglichen Verkippung entgegenwirkt).

[0020] Zum Rahmen der Erfindung gehört außerdem eine optische Datenübertragungsstrecke, insbesondere ein WDM-System, mit einer Vielzahl von Kanälen unterschiedlicher Wellenlänge, mindestens einer Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung des durchgeleiteten Spektrums und mindestens einer Vorrichtung zur Kompensation dieser Verkippung, welche eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung des durchgeleiteten Spektrums enthält, wie sie oben beschrieben wurde.

[0021] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnungen.

[0022] Im folgenden wird die Erfindung anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen und Anwendungsfällen näher beschrieben:

[0023] Fig. 1a Zweistufiger Verstärker mit Reduktion des SRS-Einflusses durch Verkippung des Gewinns;

[0024] Fig. 1b Transmissionscharakteristik eines verwendeten Filters;

[0025] Fig. 2a Zunahme des mittleren Gewinns in Abhängigkeit von der Verkippung;

[0026] Fig. 2b Fehler in Abhängigkeit von der Verkippung;

[0027] Fig. 3 Datenübertragungsstrecke mit regelbarer Gewinnverkippung zur Kompensation der SRS;

[0028] Fig. 4 Beispiel linear verkippter Spektren und linearer Frequenzgang eines Filters;

[0029] Fig. 5 Gemessene Leistungen nach dem Filter aus Fig. 4 in Relation zur Steigung der Verkippung des Spektrums.

[0030] Die Fig. 1a zeigt, wie durch die Verkippung des Gewinns eines EDFA der SRS-Einfluß reduziert werden kann, wobei in der darunter liegenden Fig. 1b die Transmissionscharakteristik des verwendeten Filters dargestellt ist.

[0031] Da optische Datenübertragungsstrecken sehr unterschiedlich aufgebaut sein können und sich die spektrale Leistungsverteilung im Betrieb ändern kann, macht nur eine variable, also einstellbare, "Gewinnverkippung" Sinn. Bei den folgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, daß die mittlere Besetzungsinversion eines EDFA im Ausgangszustand so gewählt ist, daß minimale Gewinnunterschiede – ohne Einsatz eines Filter – auftreten, die mit Hilfe eines Filter noch weitgehend vollständig zum Verschwinden gebracht werden.

[0032] Um dem Effekt der SRS entgegenzuwirken, müssen Kanäle bei kleineren Wellenlängen eine größere Verstärkung erfahren als solche bei größeren Wellenlängen. Genau dieser Effekt tritt ein, wenn man die mittlere Besetzungsinversion des EDFA erhöht, was in den Fig. 1a und 1b dargestellt ist. Im Ausgangszustand ist der Gewinnverlauf vollständig flach. Um dies zu erreichen, wurde ein Filter mit in der Fig. 1b gezeigten Transmissionscharakteristik 3 angenommen. Erhöht man nun bei einem EDFA-Aufbau, wie er in Fig. 3 gezeigt ist, die Pumpleistung in einer oder beiden Verstärkerstufen 7, nimmt die mittlere Besetzungsinversion zu und es tritt die gewünschte Gewinnverkippung auf. Eine solche mögliche Gewinnverkippung in Abhängigkeit von der eingestellten Leistung ist auch in den Spektren der Fig. 4 dargestellt.

[0033] Wie die Fig. 1a und 1b zeigen, bereitet diese Kompensationsmethode aber zwei Schwierigkeiten. Trägt man die Leistung der äquidistanten Kanäle logarithmisch über ihrer Wellenlänge auf, ergibt sich in sehr guter Näherung die Gerade 1, wenn nur die SRS wirkt. Der Verlauf des Gewinns 2 eines EDFA weist allerdings keinen linearen Verlauf als

Funktion der Wellenlänge auf, so daß eine vollständige Kompensation nicht möglich ist. In dem gezeigten Beispiel für einen EDFA mit 30 dB Gewinn im Ausgangszustand wurde die Pumpleistung so eingestellt, daß sich ein Gewinnunterschied 4 von maximal 3 dB ergibt. Aufgrund der nicht idealen Kurvenform treten nach dem Einwirken der SRS zwischen den Kanälen Leistungsunterschiede 5 von 0,9 dB auf. Diese Abweichung von der idealen Kurvenform kann aber ausgeglichen werden, indem an wenigen Stellen entsprechende Filter in die Strecke eingefügt werden. Unter Umständen ist auch bereits die Einstellung verschiedener Sendeleistungen ausreichend, um gleiche Leistungspegel bzw. Signal-Geräuschleistungsverhältnisse an allen Empfängern zu erzielen. Ein weiterer Nachteil der Methode ist, daß der mittlere Gewinn ebenfalls zunimmt. Dies kann durch Erhöhung der Dämpfung des eingefügten Dämpfungsglieds kompensiert werden. Deutlich geringer fällt der Fehler aus, wenn man die Kanäle um ca. 10 nm zu höheren Wellenlängen verlagert. In dem Beispiel wurde von einem Wellenlängenbereich von 1570 nm bis 1605 nm, dem sogenannten L-Band, ausgegangen. Das Verfahren ist aber auch bei anderen Wellenlängenbereichen anwendbar.

[0034] Die Zunahme des mittleren Gewinns ist in der Fig. 2a und der auftretende "Fehler" in der Fig. 2b als Funktion der Verkipfung dargestellt. Es zeigt sich, daß die durch die SRS auftretenden Leistungsunterschiede zu ca. 2/3 ausgeglichen werden können. Im Ausgangszustand beträgt der Gewinn in Dezibel

$$G_{opt} = \frac{10}{\ln 10} L \cdot \left\{ \sigma^e(\lambda) + \sigma^a(\lambda) \right\} \cdot \bar{N}_{opt} - \sigma^a(\lambda),$$

wobei L für die Gesamtlänge der dotierten Faser steht, $\sigma^e(\lambda)$ und $\sigma^a(\lambda)$ die von der Wellenlänge λ abhängigen Koeffizienten für Emission bzw. Absorption bezeichnen und \bar{N}_{opt} die mittlere Besetzungsinversion im Ausgangszustand repräsentiert.

[0035] Im folgenden wird davon ausgegangen, daß im Ausgangszustand die Gewinnunterschiede mit Hilfe eines Filters vollständig kompensiert werden. Erhöht man nun die mittlere Besetzungsinversion um den Wert $\Delta \bar{N}$, so ergibt sich der Gewinn zu

$$G_{komp} = \frac{10}{\ln 10} L \cdot \left\{ \sigma^e(\lambda) + \sigma^a(\lambda) \right\} \cdot \bar{N}_{opt} + \left[\sigma^e(\lambda) + \sigma^a(\lambda) \right] \cdot \Delta \bar{N} - \sigma^a(\lambda).$$

[0036] Im Vergleich zum Ausgangszustand ist also eine Gewinnzunahme um

$$\Delta G_{komp} = \frac{10}{\ln 10} L \cdot \left[\sigma^e(\lambda) + \sigma^a(\lambda) \right] \cdot \Delta \bar{N}$$

zu verzeichnen. Die durch eine Erhöhung der mittleren Besetzungsinversion bewirkte Gewinnverkipfung kann demnach durch eine Funktion $f(\lambda)$ beschrieben werden, die durch die Wirkungsquerschnitte festgelegt ist und noch mit einem Faktor zu multiplizieren ist. Die letzte oben stehende Gleichung bringt der in Fig. 3 gezeigte erweiterte EDFA-Aufbau. Hier wird verbessert werden kann, wenn von einem anderen Ausgangszustand des EDFA ausgegangen wird.

[0037] Um diese Methode in einem kommerziellen Übertragungssystem einsetzen zu können, muß eine geeignete Regelung zur Verfügung stehen, die sich leicht realisieren läßt.

[0038] Wie bereits dargelegt, besteht zwischen der Zunahme des internen Gewinns und der Verkipfung ein eindeutiger Zusammenhang. Der interne Gewinn kann aus dem zwischen Eingang und Ausgang gemessenen Gewinn bestimmt werden, indem man noch die Dämpfung eines eingefügten Dämpfungsglieds aufaddiert. Damit ist indirekt eine Regelgröße für die Verkipfung gewonnen.

[0039] Dennoch ergibt sich eine gravierende Schwierigkeit. Da in der Regel keine Meßeinrichtung zur spektral aufgelösten Messung zur Verfügung steht, ist nur die Gesamtleistung am Eingang und Ausgang des Verstärkers bekannt, nicht aber wie sich diese auf die einzelnen Kanäle verteilt. Ein mittlerer Gewinn als eindeutige Bezugsgröße läßt sich so nicht ermitteln. Eine einfache Lösung für dieses Problem bringt der in Fig. 3 gezeigte erweiterte EDFA-Aufbau. Hier wird am Eingang und am Ausgang des Verstärkers nicht nur die Gesamtleistung, sondern auch die Leistung bei einer bestimmten Wellenlänge gemessen. Damit ist der Gewinn für diesen Wellenlängenkanal und damit auch die Verkipfung eindeutig bestimmbar.

[0040] Um den Einfluß nichtlinearer Fasereffekte zu reduzieren, können je nach verwendetem Fasertyp unterschiedliche Methoden zur Belegung des verfügbaren Wellenlängenbereichs angewendet werden. Die oben beschriebene Ausbildung der Erfindung führt zu Einschränkungen, da der zur Messung des Gewinns benützte Wellenlängenkanal immer in Betrieb sein muß.

[0041] Eine mögliche Lösung, die diese Einschränkung umgeht, kann wie in der Fig. 3 dargestellt, ausgeführt werden.

[0042] Diese Fig. 3 zeigt einen zweistufigen Verstärker aus einer Datenübertragungsstrecke mit regelbarer Gewinnverkipfung zur Kompensation der durch stimulierte Raman-Streuung (SRS) verursachten Verkipfung mit zwei regelbaren Verstärkerstufen (EDFA) 7. Die zugehörige elektronische Anordnung ist zur besseren Übersicht nicht dargestellt. Vor der ersten Verstärkerstufe 7 wird über den ersten Koppler 6 ein Teilsignal entnommen und über eine erste Photodiode 10 die ungefilterte Gesamtintensität und nach Filterung durch das bekannt frequenzabhängige Filter 11 ebenfalls die gefilterte Gesamtintensität gemessen. Mit diesen Daten wird, entsprechend der nachfolgenden Beschreibung, die Eingangsverkipfung des Signals in die erste Verstärkerstufe 7 bestimmt. Hinter der ersten Verstärkerstufe 7 befindet sich ein weiterer Koppler 6 und eine Photodiode 11 zur Regelung des Gewinns der ersten Verstärkerstufe 7 in Zusammenwirken mit der am Eingang gemessenen Gesamtintensität. Nachfolgend passiert das Signal ein einstellbares frequenzunabhängiges Dämpfungsglied 8, einen weiteren Koppler 6, der wiederum ein Teilsignal am Eingang der zweiten Verstärkerstufe 7 auskoppelt und einer Photodiode 10 zur Messung ungefiltert zuführt. Hinter der zweiten und letzten Verstärkerstufe 7 wird abermals das resultierende Signal teilweise ausgekoppelt und einer Meßanordnung 9 mit einer Photodiode 10 ohne Vorfilter und einer Photodiode 10 mit vorgeschaltetem Filter 11 zur Messung zugeführt. Durch die letzte Meßanordnung

wird die Verkipfung des austretenden Signals aus der Verstärkeranordnung in der erfindungsgemäßen Weise bestimmt und entsprechend durch eine Veränderung der Inversion der EDFA, also durch Gewinnregelung der Verstärkerstufen 7, die Verkipfung in den gewünschten Grenzen gehalten oder vollständig kompensiert. Das einstellbare Dämpfungsglied 8 dient dazu, den Gewinn des gesamten Verstärkers gegebenenfalls frequenzunabhängig zu reduzieren oder durch Zurücknahme einer voreingestellten Dämpfung anzuheben.

[0043] In dieser Ausführung ist es also nicht Aufgabe der eingezeichneten Filter 11, einen einzigen Kanal zu selektieren, sondern in ihrem Dämpfungsverhalten die Wellenlängenabhängigkeit der Gewinnverkipfung, d. h. die Funktion $f(\lambda)$ bis auf eine Proportionalitätskonstante, nachzubilden. Ihre Transmissionscharakteristik lautet

$$T(\lambda) = \exp\{-\alpha \cdot f(\lambda)\},$$

wobei die Konstante α bekannt sei. Bezeichnet man die Leistungen der N Kanäle mit P_i und ihre Wellenlängen mit λ_i , lauten die am Eingang gemessenen Leistungen

$$P_{in} = \sum_{i=1}^N P_i$$

und nach der Filterung

$$P_{in}^{filt} = \sum_{i=1}^N P_i \cdot \exp\{-\alpha \cdot f(\lambda_i)\}.$$

[0044] Für die am Ausgang des Verstärkers gemessenen Leistungen gilt entsprechend

$$P_{out} = G_{opt} \cdot \sum_{i=1}^N P_i \exp\{\chi \cdot f(\lambda_i)\}$$

und nach der Filterung

$$P_{out}^{filt} = G_{opt} \cdot \sum_{i=1}^N P_i \exp\{(\chi - \alpha) \cdot f(\lambda_i)\}.$$

[0045] Die Konstante χ bestimmt den Grad der Gewinnverkipfung und soll im folgenden bestimmt werden. Dazu entwickelt man zunächst die Exponentialfunktion in eine Reihe und bricht nach dem Glied zweiter Ordnung ab. Man erhält damit das Gleichungssystem

$$\frac{P_{out}}{G_{opt}} - P_{in} = \chi \cdot \sum_{i=1}^N f(\lambda_i) \cdot P_i + \frac{\chi^2}{2} \cdot \sum_{i=1}^N f^2(\lambda_i) \cdot P_i^2$$

$$\frac{P_{out}^{filt}}{G_{opt}} - P_{in} = (\chi - \alpha) \cdot \sum_{i=1}^N f(\lambda_i) \cdot P_i + \frac{(\chi - \alpha)^2}{2} \cdot \sum_{i=1}^N f^2(\lambda_i) \cdot P_i^2$$

$$P_{in}^{filt} - P_{in} = -\alpha \cdot \sum_{i=1}^N f(\lambda_i) \cdot P_i + \frac{\alpha^2}{2} \cdot \sum_{i=1}^N f^2(\lambda_i) \cdot P_i^2$$

aus drei Gleichungen, in dem die drei Unbekannten

$$\chi, \quad \sum_{i=1}^N f(\lambda_i) \cdot P_i \quad \text{und} \quad \sum_{i=1}^N f^2(\lambda_i) \cdot P_i^2$$

enthalten sind. Der Gewinn G_{opt} im Ausgangszustand ist von der Auslegung und Dimensionierung des EDFA her bekannt. Damit läßt sich die gesuchte Größe χ eindeutig bestimmen:

$$\chi = \alpha \cdot \frac{P_{out} + P_{out}^{filt} - (P_{in} + P_{in}^{filt}) \cdot G_{opt}}{P_{out} - P_{out}^{filt} + (P_{in} - P_{in}^{filt}) \cdot G_{opt}}.$$

[0046] Um den Aufwand gering zu halten, wurde die Reihenentwicklung nach dem Glied zweiter Ordnung abgebrochen. Damit läßt sich die Exponentialfunktion nur innerhalb eines begrenzten Wertebereichs approximieren. Soll dieser Wertebereich vergrößert werden, können Terme höherer Ordnung ebenfalls berücksichtigt werden, wobei weitere Photodioden mit unterschiedlichen vorgeschalteten Filtern eingesetzt werden müssen.

[0047] Mit der Taylorreihenentwicklung erhält man eine sehr gute Approximation der Exponentialfunktion bei sehr kleinen Argumenten, während bei größeren Werten größere Abweichungen auftreten. Deshalb bietet es sich an, den Fak-

tor $\frac{1}{2}$ vor dem zweiten Term so anzupassen, daß innerhalb des gewünschten Wertebereichs der maximal auftretende Fehler minimal wird. Ersetzt man den Faktor $\frac{1}{2}$ z. B. durch 0.81, lassen sich Gewinnverkippen bis 4.5 dB bei einem maximalen Fehler von 0.18 dB einstellen.

- 5 **[0048]** Entsprechend eines weiterführenden erfindungsgemäßen Aspektes, der zu einer besonders einfachen und eleganten Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippen des Frequenzspektrums führt, sei noch spezielle Anwendung des oben beschriebenen Prinzips der folgende Gedanke dargestellt:

Betrachtet man bei einem gemessenen Spektrum $S(\lambda)$ im Wellenlängenbereich von λ_{Start} bis λ_{Stop} die Verkippen, so kann man diese durch eine numerische Analyse bestimmen und eine Kenngröße für die Verkippen, beispielsweise das erste Moment M_1 des Spektrums relativ zu der Mittenwellenlänge λ_C des Spektrums ($\lambda_C = (\lambda_{\text{Start}} + \lambda_{\text{Stop}})/2$):

$$10 \quad M_1 = \int_{-L/2}^{+L/2} x S(x + \lambda_c) dx \quad \text{mit} \quad L = (\lambda_{\text{Stop}} - \lambda_{\text{Start}})$$

- 15 charakterisieren. Auch andere ungerade Funktionen $f(x)$ (ungerade bedeutet hier $f(x) = -f(-x)$) können eingesetzt werden:

$$20 \quad V = \int_{-L/2}^{+L/2} f(x) S(x - \lambda_c) dx$$

- [0049]** Erfindungsgemäß wird statt einer aufwendigen spektral aufgelösten Messung des Spektrums $S(\lambda)$ und einer anschließenden spektralanalytischen numerischen Bestimmung der Verkippen das Spektrum mit einem optischen Filter mit dem Frequenzgang $G(\lambda)$ gewichtet und die Summenausgangsleistung P_V des Filters mit einer einfachen Photodiode gemessen. Die Gewichtung kann dabei der zu erwartenden Verkippen angepaßt werden:

$$P_V = \int_0^{+\infty} G(\lambda) S(\lambda) d\lambda$$

- 30 **[0050]** Da der Frequenzgang $G(\lambda)$ und das Spektrum $S(\lambda)$ größer 0 sind, ist auch bei einem unverkippen Spektrum auch P_V größer 0. Dieser Offset ist beim Einsatz zu beachten. Weiterhin sollte der Frequenzgang $G(\lambda)$ von λ_{Start} bis λ_{Stop} zu $G(\lambda_C)$ ungerade sein (ungerade bedeutet hier $G(\lambda_C + x) - G(\lambda_C) = -[G(\lambda_C - x) - G(\lambda_C)]$). Außerdem sollte sich die monotone Flanke des Filter-Frequenzgangs von λ_{Start} bis λ_{Stop} erstrecken. Auch können Frequenzgänge von Photodioden oder Kopplern in $G(\lambda)$ berücksichtigt werden, falls sie sonst zu Verfälschungen des Meßergebnisses führen würden. Eine Bandpaß-Beschränkung auf einen zu betrachtenden Wellenlängenbereich (beispielsweise von λ_{Start} bis λ_{Stop}) kann in $G(\lambda)$ ebenfalls enthalten sein.

- [0051]** Als Funktionsbeispiel sind in der Fig. 4 mehrere linear verkippte Spektren $S(\lambda) = a \cdot \lambda + b$, dargestellt als gestrichelte Linien, gezeigt. Die Gesamtleistung

$$40 \quad \int_0^{+\infty} S(\lambda) d\lambda$$

- aller Spektren ist hier gleich, so daß man mittels einer Photodiode unabhängig von der Verkippen die gleiche Leistung messen würde. Fügt man nun einen Filter mit Frequenzgang $G(\lambda)$ ein, wird, wie in Fig. 5 dargestellt, die an der Photodiode gemessene Leistung abhängig von der Verkippen und kann somit als Maß der Verkippen für Regelaufgaben herangezogen werden.

- [0052]** Beispielhaft kann ein Mach-Zehnder-Interferometer mit einem \cos^2 -förmigen Frequenzgang als geeigneter Filter herangezogen werden. Hierbei besitzt der Meßwert ein von der Summenleistung des optischen Signals abhängigen Offset. Offset bedeutet hier, daß die Meßvorrichtung auch bei verschwindender Verkippen des Spektrums ein Signal liefert. Dieser Nachteil kann durch ein optisches Filter mit zwei gegenläufigen Frequenzgängen $G_{AB}(\lambda)$ und $G_{AC}(\lambda)$ vermieden werden, wenn $G_{AB}(\lambda) + G_{AC}(\lambda) = \text{konst.}$ gilt. Ein Realisierungsbeispiel mit zwei gegenläufigen Frequenzgängen ist die Verwendung der zwei Ausgänge eines Mach-Zehnder-Interferometers. Mit diesem Aufbau kann gleichzeitig die Verkippen und die Gesamtleistung des Signals bestimmt werden:

- 55 Die Verkippen V ergibt sich aus der Differenz der Meßwerte mit:

$$V = P_{VC} - P_{VA} = \int_0^{+\infty} [G_{AC}(\lambda) - G_{AB}(\lambda)] S(\lambda) d\lambda$$

- 60 **[0053]** Für einen linearen Frequenzgang verschwindet bei $G_{AB}(\lambda_C) = G_{AC}(\lambda_C)$ der Offset von V .

- [0054]** Die Summenleistung P errechnet sich aus der Summe der Messwerte:

$$65 \quad P = P_{VC} + P_{VA} = \int_0^{+\infty} [G_{AC}(\lambda) + G_{AB}(\lambda)] S(\lambda) d\lambda = \text{konst.} \int_0^{+\infty} S(\lambda) d\lambda$$

- [0055]** Vorteilhaft wird diese Größe bereits zur Regelung der Pumpaserdioden in Faserverstärkern verwendet und kann nun auch zur Normierung der Verkippen eingesetzt werden, falls die Größe der Verkippen und nicht nur das Vor-

zeichen benötigt wird.

[0056] Besonders vorteilhaft bei dieser dargestellten Lösung erweist sich, der sehr einfache und damit kostengünstige Aufbau dieser Messung, wobei keine spektral aufgelöste Messung notwendig ist. Es wird eine dezentrale Regelung ermöglicht, wodurch sich der Softwareaufwand für die Steuerung reduziert und sich die Regelgeschwindigkeit erhöht. Weiterhin kann die Gewichtung an eine grundsätzlich bekannte Verkippungsfunktion des Faserverstärkers und an mögliche Störungen des Spektrums, wie beispielsweise eine Verkippung durch SRS-Dämpfung, angepaßt werden.

[0057] Es versteht sich, daß die vorstehend genannten Merkmale der Erfindung nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

[0058] Insgesamt zeigt diese Erfindung also ein einfaches Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung des Spektrums eines optischen Signals durch Messung von mindestens einer Gesamtintensität im Anschluß an einen Durchgang des Signals durch Beeinflussungselement mit bekannter Beeinflussungscharakteristik, einschließlich deren Verwendungsmöglichkeit für die Einstellung der spektralen Verkippung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Verkippung des Spektrums von Lichtsignalen in einer Lichtleitfaser einer optischen Datenübertragungsstrecke, **dadurch gekennzeichnet**, daß das in einer Lichtleitfaser transportierte Licht zumindest teilweise durch mindestens ein Beeinflussungselement mit bekannter frequenzabhängiger Intensitätsbeeinflussung geleitet wird, wobei anschließend an jedem Beeinflussungselement die Gesamtintensität zumindest eines bestimmten Frequenzbereiches gemessen und die Verkippung aufgrund des bekannten Einflusses der Beeinflussungselemente (11) und der gemessenen Gesamtintensitäten bestimmt wird.
2. Verfahren gemäß dem voranstehenden Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als mindestens ein Beeinflussungselement ein Filter (11), vorzugsweise ein Mach-Zehnder-Interferometer oder ein dielektrisches Filter oder ein Fasergitter oder ein wellenselektiver Koppler, insbesondere ein Schmelzkoppler, verwendet wird.
3. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 1–2, dadurch gekennzeichnet, daß als mindestens ein Beeinflussungselement ein Verstärker oder eine verstärkend wirkende Wellenleiterstruktur oder Faser verwendet wird.
4. Verfahren gemäß dem voranstehenden Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Verstärker ein EDFA (Erbium-dotierter Faserverstärker) ist.
5. Verfahren zur Einstellung der Verkippung des Spektrums von Lichtsignalen in einer Lichtleitfaser einer optischen Datenübertragungsstrecke mit einem Mittel zur Veränderung der Verkippung des Spektrums, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der Verkippung ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 verwendet wird.
6. Verfahren gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittel zur Veränderung der Verkippung mindestens ein optischen Verstärker (7) verwendet wird.
7. Verfahren gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Mittel zur Veränderung der Verkippung ein einstellbares frequenzabhängiges optisches Filter ist.
8. Verfahren gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das einstellbare frequenzabhängige optische Filter ein Mach-Zehnder mit verstellbarer Leistungsaufteilung in seine zwei Zweige oder mit einstellbarer Zeitverzögerung im mindestens einem seiner zwei Zweige ist.
9. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine vorhandene Verkippung ganz oder teilweise kompensiert wird oder auf eine gegenläufige Verkippung eingestellt wird.
10. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Verkippung mit einer vordefinierten Größe erzeugt wird.
11. Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung des Spektrums von Lichtsignalen in einer Lichtleitfaser einer optischen Datenübertragungsstrecke, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Beeinflussungselement (11) an- und/oder eingekoppelt in der Lichtleitfaser vorgesehen ist, das mindestens eine definierte frequenzabhängige Intensitätsveränderung des durchgeleiteten Lichtes bewirkt, Mittel zur Messung (10) der jeweiligen Gesamtintensität über einen bestimmten Frequenzbereich von mindestens zwei Lichtsignalen vorgesehen, wobei mindestens eines frequenzabhängig durch das mindestens eine Beeinflussungselement intensitätsverändert ist, vorgesehen sind und Mittel zur Berechnung der Verkippung aufgrund des bekannten Einflusses der Beeinflussungselemente und der gemessenen Gesamtintensitäten bestimmt wird.
12. Vorrichtung gemäß dem voranstehenden Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Beeinflussungselement ein Filter (11) ist.
13. Vorrichtung gemäß dem voranstehenden Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Filter verstellbar ist.
14. Vorrichtung gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 12–13, dadurch gekennzeichnet, daß das mindestens eine Filter (11) ein Mach-Zehnder-Interferometer, gegebenenfalls mit verstellbarer Leistungsaufteilung oder einstellbarer Zeitverzögerung in mindestens einem Zweig, oder ein dielektrisches Filter oder ein Fasergitter oder ein wellenselektiver Koppler, insbesondere ein Schmelzkoppler, ist.
15. Vorrichtung gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 11–13, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Beeinflussungselement ein Verstärker ist.
16. Vorrichtung gemäß dem voranstehenden Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Verstärker eine verstärkend wirkende, mit Seltenen Erden dotierte, Wellenleiterstruktur, oder ein EDFA (Erbium-dotierter Faserverstärker), ist.
17. Vorrichtung gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 11–16, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel zur

Messung der jeweiligen Gesamtintensität des frequenzabhängig beeinflussten Lichtsignals eine Photodiode (10) ist.
 18. Vorrichtung gemäß einem der voranstehenden Ansprüche 11–17, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel zur Berechnung der Verkippung aufgrund des bekannten Einflusses der Beeinflussungselemente und der gemessenen Gesamtintensitäten ein Mikroprozessor mit Datenspeicher und Programm-Mitteln zur Lösung von linearen Gleichungssystemen ist.

19. Vorrichtung zur Einstellung der Verkippung des Spektrums von Lichtsignalen in einer Lichtleitfaser einer optischen Datenübertragungsstrecke mit mindestens einem Mittel (7) zur Veränderung der Verkippung, wobei auch eine Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung die Merkmale eines der Ansprüche 8 bis 14 aufweist.

20. Vorrichtung gemäß dem voranstehenden Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel zur Veränderung des Spektrums ein frequenzabhängiger optischer Verstärker (7), vorzugsweise eine mit Seltenen Erden dotierte Wellenleiterstruktur, Faser oder ein EDFA ist, wobei die Frequenzabhängigkeit der Verstärkung der Wellenleiterstruktur oder Faser durch Veränderung der Pumpleistung derart eingestellt werden kann, daß sie der ursprünglichen Verkippung entgegenwirkt.

21. Vorrichtung gemäß dem voranstehenden Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel zur Veränderung des Spektrums ein einstellbares frequenzabhängiges optisches Filter, vorzugsweise ein Mach-Zehnder mit verstellbarer Leistungsaufteilung auf seine Zweige und/oder mit verstellbarer Zeitverzögerung in mindestens einem seiner Zweige ist, wobei die Frequenzabhängigkeit der Dämpfung derart eingestellt werden kann, daß sie in Richtung der gewünschten Verkippung wirkt.

22. Optische Datenübertragungsstrecke, insbesondere WDM-System, mit einer Vielzahl von Kanälen unterschiedlicher Wellenlänge, mindestens einer Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung des durchgeleiteten Spektrums und mindestens einer Vorrichtung zur Einstellung dieser Verkippung, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Bestimmung der Verkippung des durchgeleiteten Spektrums die Merkmale eines der Ansprüche 11–18 aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1a

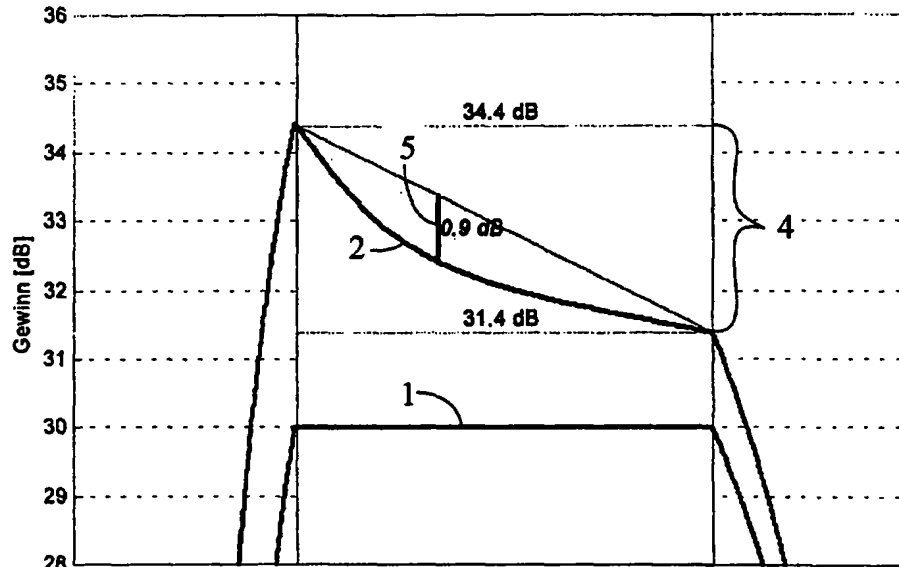


Fig. 1b

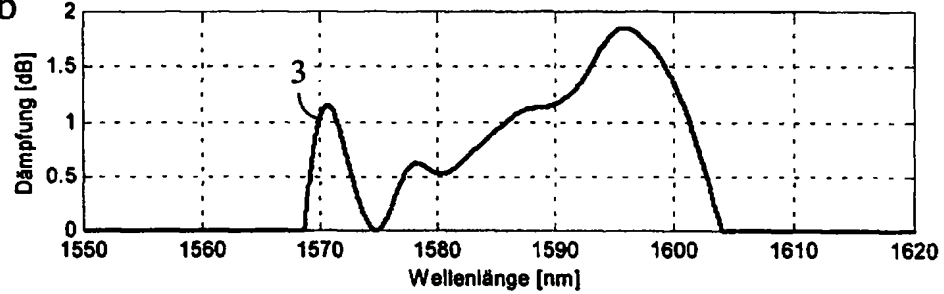


Fig. 2a

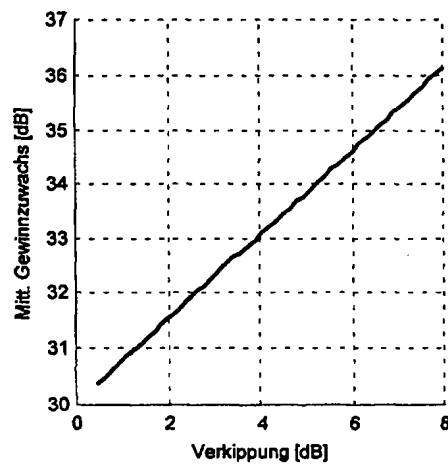
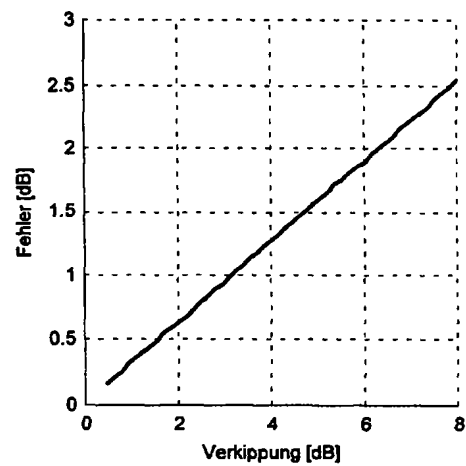


Fig. 2b



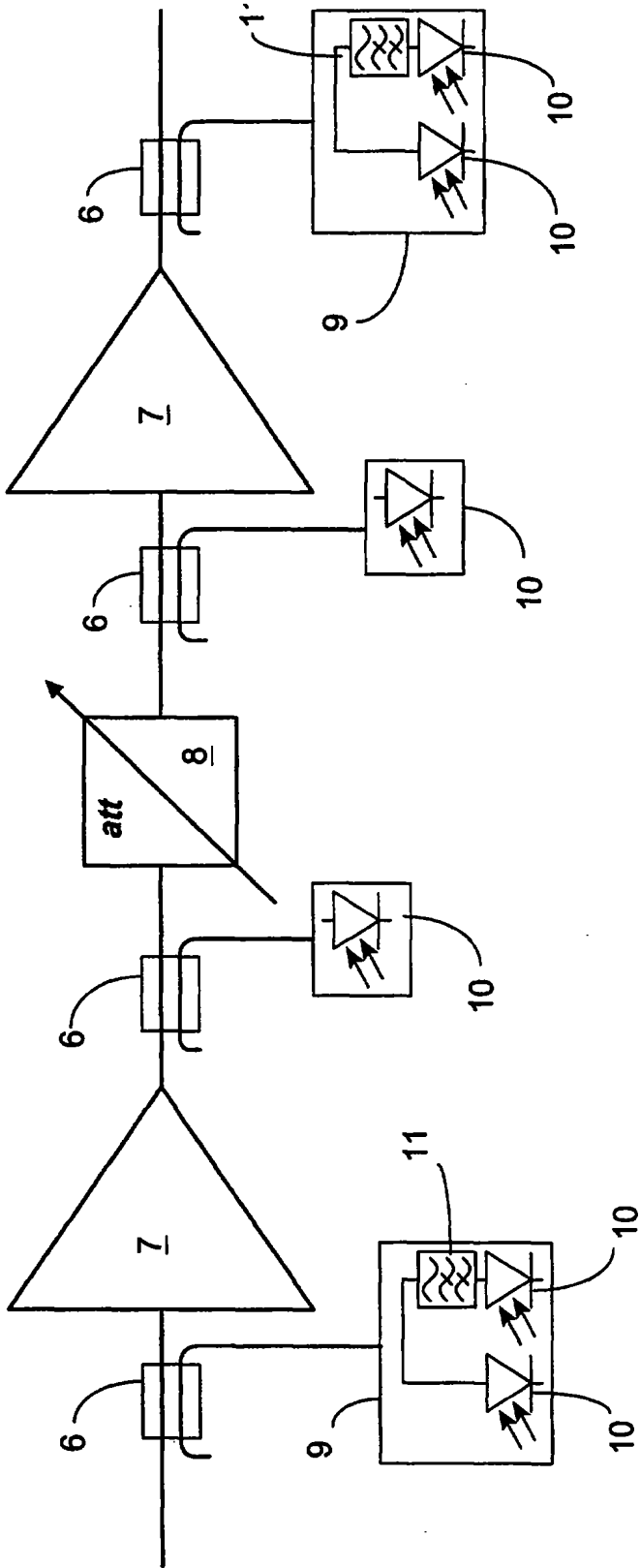


Fig. 3

Fig. 4

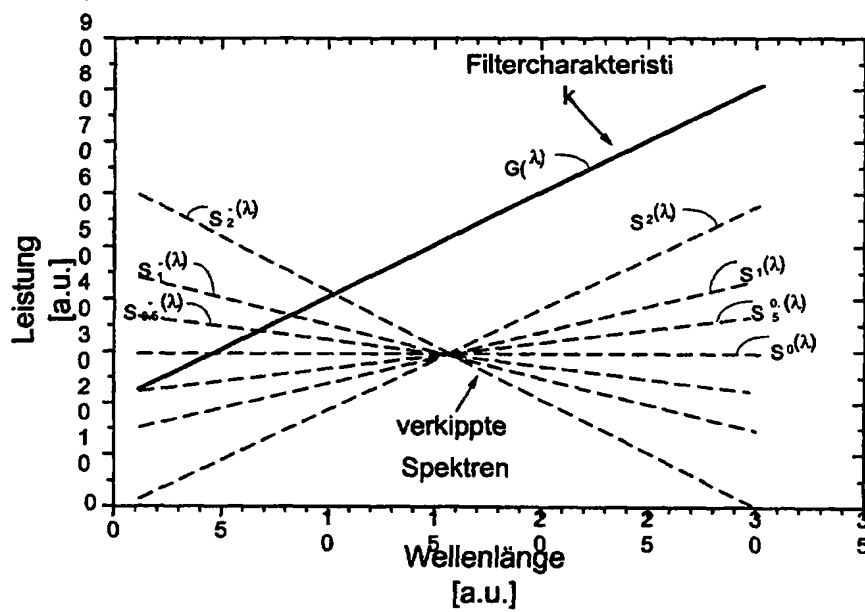


Fig. 5

